



Februar 2017

**MASTERPLAN FOR
HØJVANDSSIKRING AF GRENÅ,
UDKAST TIL VIDERE BEARBEJDNING**

PROJEKTHøjvandssikring af Grenå

Projekt nr. 224732
Dokument nr. 1221043231
Version 3
Udarbejdet af OKL
Kontrolleret af FHM
Godkendt af

NIRAS A/S

Åboulevarden 80
Postboks 615
8000 Aarhus C

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet FRI
www.niras.dk

T: +45 8732 3232
F: +45 8732 3200
E: aarhus@niras.dk

E: OKL@niras.dk

INDHOLD

1	Baggrund og formål	1
1.1	Baggrund	1
1.2	Formål.....	1
2	Løsningsmuligheder	1
3	Beskrivelse af løsninger	2
3.1	Højvandssikring med sluse på Grenåen.....	2
3.2	Bassiner til vand fra byerne og Grenåen	7
3.2.1	Vandmængde fra byerne og Grenåen	7
3.2.2	Bassin i Kragssø.....	12
3.2.3	Bassin i de dele af Kolindsund, som ligger i Norddjurs Kommune	13
3.2.4	Bassiner på kommunalt ejede arealer i Kolindsund	14
3.2.5	Bassin i laguner langs kysten	17
3.2.6	Udnyttelse af eksisterende Kolindsund-kanaler som bassin	18
3.3	Pumpestation, som pumper vandet fra Grenåen til havnen/Kattegat	21
3.4	Økonomi for løsninger	22
3.5	Finansieringsmuligheder.....	25
4	Referencer	26

Bilag 1: Kort over løsning med bassin i Kolindsund

1 BAGGRUND OG FORMÅL

1.1 Baggrund

I klimatilpasningsplanen for Norddjurs er en stor del af Grenå by langs Grenåen og ved Grenå Havn udpeget som Risikoområde 1. Årsagen til udpegningen er primært stormflod, men også oversvømmelse fra vandløb i kombinationen med stormflod. Udpegningen skyldes i mindre grad oversvømmelse som følge af skybrud. I klimatilpasningsplanen er der angivet følgende indsats i dette Risikoområde 1:

- Opstart af projektsamarbejde mellem relevante aktører omkring udarbejdelse af en langsigtet plan for sikring af Grenå mod oversvømmelse fra stormflod samt oversvømmelse fra Grenåen.

I dette dokument er der opstillet en sådan langsigtet plan (en masterplan) for højvandssikring af Grenå.

Klimatilpasningsplanens udpegede Risikoområde 4, der ligger i et erhvervsområde i den sydlige del af Grenå, kan være hydraulisk sammenhængende med Risikoområde 1, via arealerne omkring Kragssø. Dog er risikobilledet omkring Risikoområde 4 komplekst, hvorfor denne masterplan ikke omfatter Risikoområde 4.

1.2 Formål

Formålet med masterplanen er at beskrive mulige løsninger, som kan dæmme op for fremtidige oversvømmelser i Grenå By fra havet og fra Grenåen ved stormflod og regnhændelser. Løsningsbeskrivelserne kan anvendes som beslutningsgrundlag ved fastlæggelse af hvordan klimatilpasning af Grenå By optimalt skal implementeres og kan desuden anvendes som grundlag for en efterfølgende detailprojektering.

2 LØSNINGSMULIGHEDER

Oversvømmelsesproblematikken i Risikoområde 1 er beskrevet i /1/, se Figur 1.

Risikoområde 1 - Grenaa

Risikoområde 1 omfatter en større del af Grenaa by. Området strækker sig langs vandløbet Grenåen, der løber gennem byen, og munder ud i Kattegat. Derudover omfatter det et større område ved Grenaa Havn.

Sandsynligheden for oversvømmelser i dette område stammer overvejende fra stormflodshændelser fra Kattegat. Store arealer oversvømmes allerede i dag ved en 20-års hændelse, og med forventningen om en generelt stigende havvandstand vil risikoen for oversvømmelse fra havet stige markant i fremtiden.

Samtidig ses også en stor sandsynlighed for oversvømmelse fra vandløbet Grenåen, der ved større nedbørshændelser kan forventes at gå over sine bredder.

Særlig problematisk er en situation, hvor der både er høj vandstand i havet og i Grenåen.

Figur 1: Beskrivelse af Risikoområde 1 /1/.

Nutidig (2012) og fremtidig (2112) vandstand ved 20, 50 og 100 års højvands-hændelser, der fremgår af Figur 2, udgør en væsentlig del af begrundelsen for udpegning af Risikoområde 1.

	20 års GTP	50 års GTP	100 års GTP
2012	164 cm	181 cm	193 cm
2112	248 cm	265 cm	277 cm

Figur 2: Havvandstand i år 2012 og 2112 ved 20, 50 og 100 års højvands-hændelser (GTP = gentagelsesperiode) /1/.

Et væsentligt løsningselement i forhold til sikring af Grenå mod de højvands-hændelser, der vist i Figur 2, er etablering af en højvandssikring mellem byen og havet. Højvandssikringen skal bestå af dige/mur/hævet areal i kombination med sluse på Grenåen. Dette løsningselement er nærmere beskrevet i afsnit 3.1.

Med henblik på at sikre afstrømning af vand fra Grenåens opland i perioder, hvor slusen er lukket, og dermed eliminere risiko for oversvømmelse med vand fra Grenåen, skal der identificeres et supplerende løsningselement, der håndterer denne afstrømning. Dette supplerende løsningselement kan i princippet bestå af en bassinløsning med et volumen, der svarer til afstrømningen i lukkeperioden, eller af en pumpeløsning, der løfter vand fra Grenåen til havnen/Kattegat.

Følgende bassinløsninger er nærmere beskrevet i afsnit 3.2.2 - 3.2.5:

- Bassin i Kragssø
- Bassin i de dele af Kolindsund, som ligger i Norddjurs
- Bassin på kommunalt ejede arealer i Kolindsund
- Bassin i laguner langs kysten

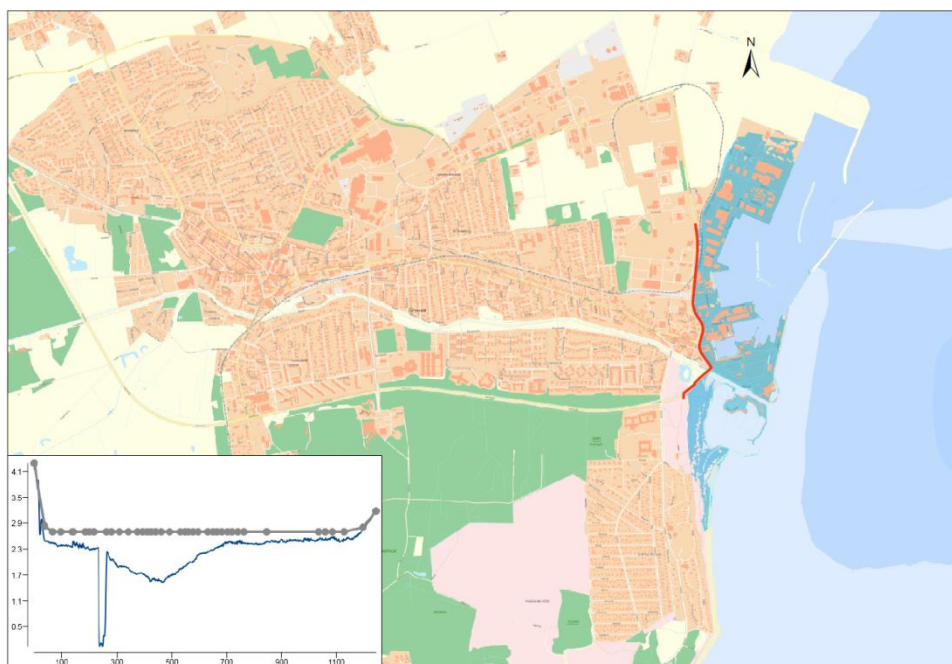
Endvidere er pumpeløsningen nærmere beskrevet i afsnit 3.2.6.

3 BESKRIVELSE AF LØSNINGER

3.1 Højvandssikring med sluse på Grenåen

På Figur 3 er vist et eksempel på højvandssikring og sluse på Grenåen ved havnen i Grenå. Højvandssikringen, inkl. sluse, er tegnet med en sikringskote i 2,77 m, svarende til en 100 års stormflodshændelse i år 2112. Den nødvendige længde af højvandssikringen og højde i forhold til eksisterende terræn fremgår af figuren. Det ses, at længden er ca. 1 km, og at den største del af højvandssikringen skal have en højde på ca. 0,3 m, mens en mindre (central) del skal have en højde mellem ca. 0,3 og ca. 1,5 m i forhold til at beskytte mod den nævnte meget store stormflod.

Såfremt der vælges et lavere beskyttelsesniveau mod oversvømmelse (lavere sikringskote) vil der være behov fra kortere og lavere dige/mur/hævet areal. Eksempelvis vil der ved et beskyttelsesniveau, svarende til en 100 års stormflodshændelse i nuværende klima (2012) med sikringskote 1,93 m, være behov for en højvandssikring med en længde på ca. 0,5 km og en højde op til ca. 1,2 m.



Figur 3: Højde (indsat figur i nederste venstre hjørne) og effekt af højvandssikring og sluse (rød linje med sikringskote 2,77) på havnen i Grenå. NB, at havnearealet ikke sikres ved den valgte placering af højvandssikringen (blå farve på havnearealet).

Det bemærkes på Figur 3, at havnearealet oversvømmes ved en 100 års stormflodshændelse i 2112, da højvandssikringen ligger på landsiden af havnen. Ved en 100 års hændelse i nuværende klima vil der ligeledes være oversvømmelse på havnen, men primært på den centrale og sydlige del af havnen, hvor kajerne ligger under kote 1,93 m, mens den nordlige del af havnen, hvor kajerne er højere, ikke oversvømmes.

Hvis det ønskes, kan havnearealerne eller dele heraf inddrages i højvandssikringen, hvilket dog vil forøge længden af dige/mur/hævede arealer. Det foreslås, at denne type af tiltag overvejes sammen med relevante interessenter på havnen.

Når placeringen af højvandssikringen er fastlagt, vurderes det om der er behov for ekstra sikring i form af højde og/eller styrke i forhold til bølgepåvirkning.

Endvidere skal der screenes for eksisterende passager af højvandssikringen, herunder om der er afløbsledninger eller dræn, som i værste fald vil kunne føre havvand fra havnen til byen og dermed give anledning til oversvømmelse i byen.

På Figur 4 og 5 er vist en visualisering af et eksempel på, hvordan højvandssikringen kan udformes på henholdsvis den centrale del og den nordlige del af havnen. Der er vist et foto uden højvandssikring (øverst) og et foto med højvandssikring (nederst). Som det fremgår er højvandssikringen på den centrale del af havnen eksemplificeret ved en op til 1 m høj mur (grå) med port (rød). På den nordlige del af havnen er højvandssikringen eksemplificeret ved en op til 0,3 m høj jordvold (fremhævet med rød farve, da den ellers er næsten usynlig).



Figur 4: Visualisering af højvandssikring på den centrale del af havnen



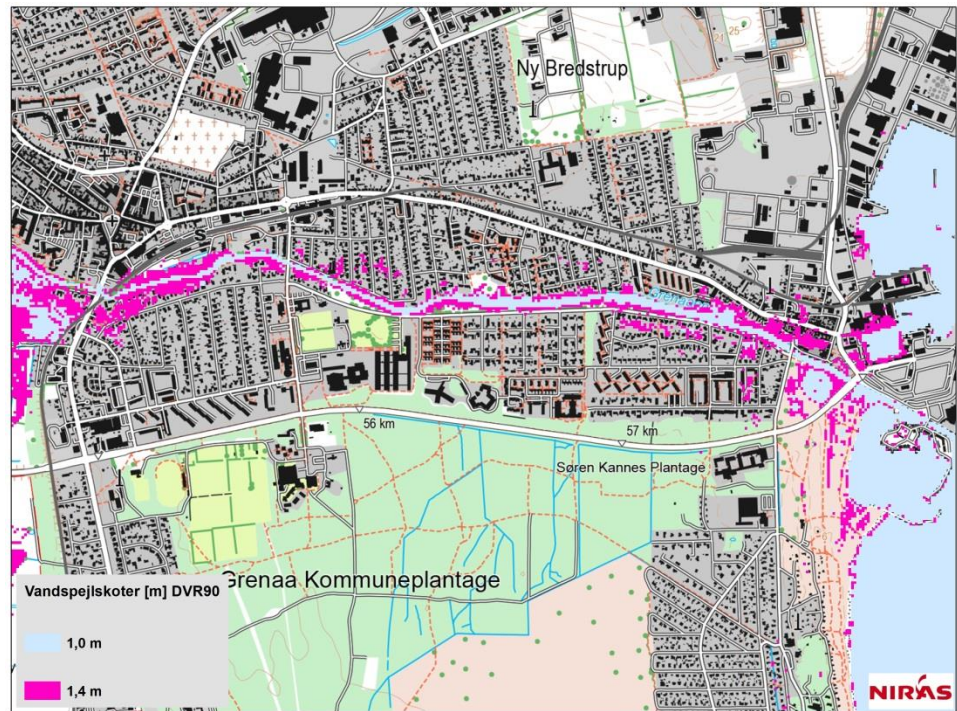
Figur 5: Visualisering af højvandssikring på den nordlige del af havnen

Selve slusen kan udformes med porte, der lukkes ved en valgt kote (lukkekote). Lukkekote vælges under iagttagelse af tre delvist modsatrettede hensyn:

- at forhindre oversvømmelse med havvand langs Grenåen
- at sikre faunapassage mellem Grenåen og Kattegat
- at minimere den vandmængde, der skal håndteres på landsiden af slusen

Højeste acceptable vandstand langs med Grenåen er vurderet på baggrund af oversvømmelseskort, som er udarbejdet i ArcGIS, se kort i Figur 6. Det fremgår, at der er enkelte mindre oversvømmelser ved en vandstand på +1,0 m og at der

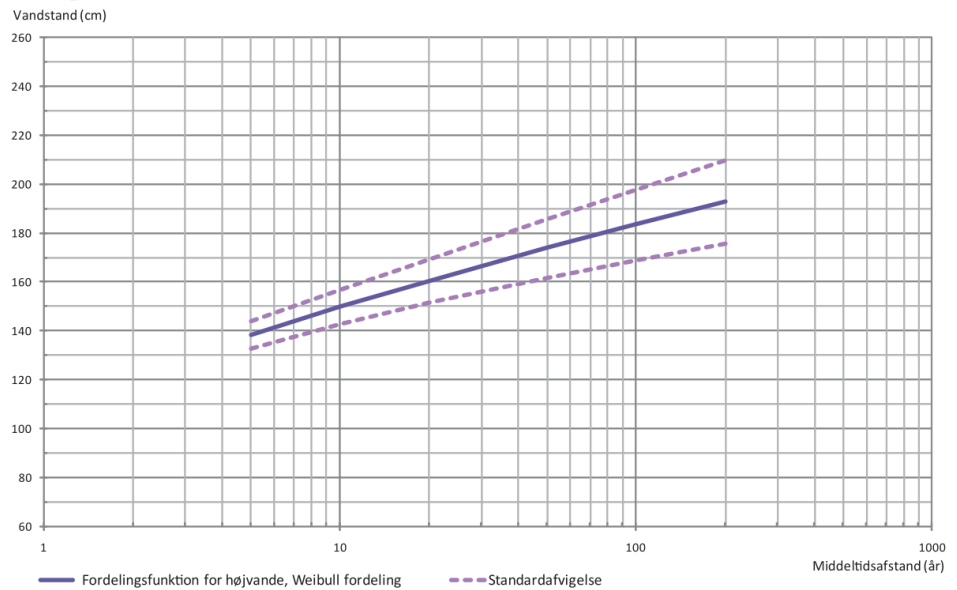
ved en vandstand på +1,4 m er enkelte moderate oversvømmelser i nærområdet langs åen.



Figur 6: Oversvømmelseskort for byområdet langs Grenåen (havvandsstand henholdsvis +1,0 m og +1,4 m).

Højvandsstatistik for Grenå Havn i nuværende klima er vist på Figur 7. Det fremgår, at havvandsstand på +1,4 m statistisk set forekommer hvert 5. år. En havvandsstand på +1,0 m forekommer én eller få gange hvert år. I et fremtidigt klima med stigende havvandsstand vil disse højvandshændelser forekomme med større hyppighed.

Fordelingsfunktion



Figur 7: Højvandsstatistik for Grenå Havn [2/].

På ovenstående baggrund vurderes det, at lukkekoten skal ligge i intervallet +1,2 m til +1,4 m. Til orientering kan det oplyses, at lukkekoten for den tilsvarende sluse i Aarhus er valgt til +1,4 m.

I det videre arbejde med valg af lukkekote kan rådata fra DMI's vandstandsmålere med fordel inddrages, da disse kan bidrage med oplysninger om varighed af sluselukninger ved valg af forskellige lukkekoter. Erfaringsmæssigt vurderes det, at valg af lukkekote på +1,4 m vil resultere i lukketider på få timer. Valg af lavere lukkekoter vil alt andet lige medføre længere lukketider. I det følgende regnes der således på den sikre side, når der regnes med lukketid på op til 12 timer.

3.2 Bassiner til vand fra byerne og Grenåen

3.2.1 Vandmængde fra byerne og Grenåen

Den tilstrømmende vandmængde ved en sluselukning med 24 timers varighed, består af et bidrag fra byerne i Grenåens opland og et bidrag fra det øvrige opland til Grenåen.

I forbindelse med vurdering af bidraget fra byerne i oplandet er det forudsat, at der i levetiden for en højvandssikring i Grenå gennemføres separat kloakering af byerne med regnvandsafstrømning til Grenåen. Vurderingen er udført således:

- For Grenå by er regnvandsafstrømningen til Grenåen beregnet for klimafremskrevne regnhændelser (CDS 5, 10, 20, 50 og 100) med den eksisterende MikeUrban hydrauliske rørmodel.
- Der er anvendt en klimafaktor på 1,3 for gentagelsesperioder op til og med 50 år og en klimafaktor på 1,4 for 100 års hændelsen.

- For øvrige byer i oplandet, der er beliggende i Syddjurs eller Norddjurs Kommune, er regnvandsafstrømningen vurderet på baggrund af resultaterne fra Grenå-beregningerne, således:
 - Der er medtaget en del oplande i Syddjurs og Norddjurs Kommune – de fremgår af Figur 8. Polygonerne over befæstede arealer er optegnet pba. en pdf fil, som er fundet i Syddjurs og Norddjurs Kommunes webkort. Fælles- og separatkloakerede oplande er medtaget i optegningen, men oplande, hvor vand fra private matrikler nedsives, er udeladt.
 - Der er ikke skelnet mellem belastning fra fælles- og separatkloakerede oplande.
 - Befæstelsesgraden er sat på 30 % for alle disse oplande. Befæstelsesgraden er således et skøn.

Resultat af vurderingerne af regnvandsafstrømningen til Grenåen er vist i Figur 9. Det fremgår, at den samlede afstrømning til Grenåen er mellem ca. 168.000 m³ og ca. 335.000 m³. Bemærk, at Grenå by står for ca. halvdelen af afstrømningen, mens de øvrige byer, som alle er beliggende i Syddjurs og Norddjurs Kommune står for den anden halvdel. I det eventuelle videre arbejde med vurdering af afstrømningen i Grenåen kan forsyningernes mere detaljerede oplysninger om befæstelsesgrader mv. med fordel inddrages.

Konservativt regnes der i det videre arbejde med, at hele den ovennævnte vandmængde afstrømmer til Grenåen i den periode, hvor slusen er lukket.



Figur 8: By-oplande, som indgår i beregningen (Grenå by) og vurderingen (øvrige byer) af afstrømningen i Grenåen.

	CDS5	CDS10	CDS20	CDS50	CDS100
Sum [m ³]	168.123	195.518	226.362	272.589	334.605

Sum udløb Grenå by	62.266	69.458	77.663	90.150	106.915
Sum udløb Syddjurs	53.658	63.157	73.640	89.208	110.358
Sum udløb Nord- djurs	28.565	33.604	39.164	47.422	58.641
Sum overløb Grenå by	23.635	29.298	35.894	45.809	58.691

Figur 9: Sum af regnvandsafstrømning til Grenåen fra Grenå by og øvrige byer i oplandet til Grenåen, ved forskellige klimafremskrevne regnhændelser (CDS5 – CDS 100).

Afstrømningen fra den øvrige del af Grenåens opland kendes bedst fra vandføringsmålinger på to steder i den nedre del af Grenåen:

- Vandføringsmåling ved bro ved havnen
- Vandføringsmåling ved Århusvej, Sønderbro

Tilgængelige tidsserier (Arealinfo) for disse målestationer er vist i Figur 10. Det fremgår, at kurverne er næsten ens for den fælles del af tidsserien (2014 og 2015). Dog er peak-værdierne en anelse højere ved havnen end ved Sønderbro, hvilket er forventeligt, da forskellen stort set udgøres af afstrømning fra byen.

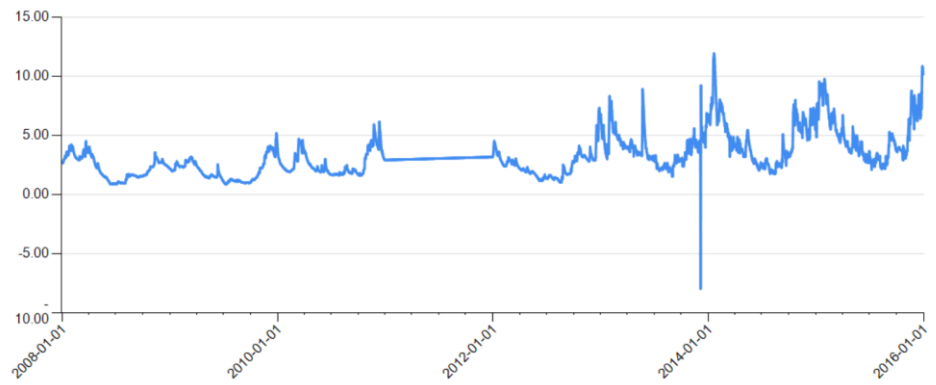
Største døgnvandføring i observationsperioden er ca. 11 m³/s. Observationsperioden er kun ca. 8 år, hvilket medfører en del usikkerhed i vurdering af maksimal afstrømning fra vandløbet.

På Figur 11 er vist vandføringstidsserier for Aarhus Å og Grenå. Det fremgår, at peak-afstrømningen i Aarhus Å ligger lidt højere end den tilsvarende i Grenåen. Eksempelvis er der flere tilfælde af peakværdier i Aarhus Å på ca. 15 m³/s, hvor den tilsvarende peakværdi i Grenåen er noget lavere (omkring 10-12 m³/s).

På det foreliggende grundlag vurderes det, at en klimafremskrevet maksimal afstrømning i Grenåen (10 års hændelse) vil være op til ca. 15 m³/s.

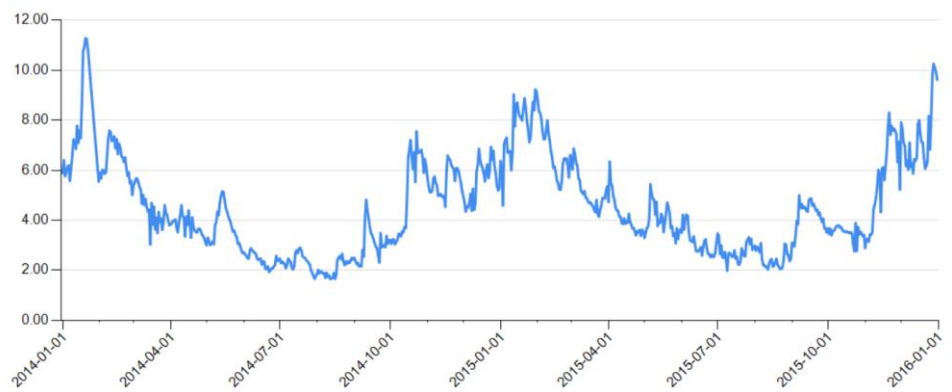
Stationsnr	Stationsnavn	Stationens lokalitet	Stationsejer
24000050	GRENÅ BY, BRO VED HAVN	GRENÅEN	Naturstyrelsen

Vandføringsmålinger for stationen, døgnmiddelværdier (m³/s)



Stationsnr	Stationsnavn	Stationens lokalitet	Stationsejer
24000241	Ved Århusvej, Senderbro	Grenåen	Naturstyrelsen

Vandføringsmålinger for stationen, døgnmiddelværdier (m³/s)

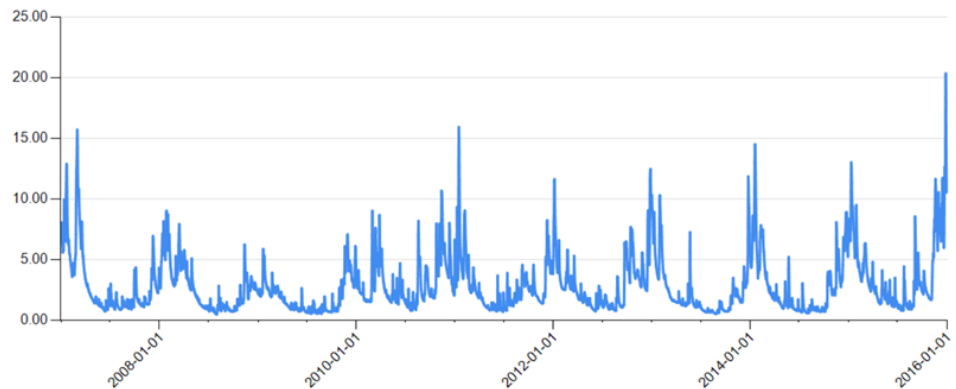


Figur 10: Vandføringstidsserier for Grenåen. NB at der er forskellig tidsakse for de to figurer.

Stationsnr	Stationsnavn	Stationens lokalitet	Stationsejer
26000080	MUSEUMSBRO	ARHUS Å	Naturstyrelsen

Vandføringsmålinger for stationen, døgnmiddelværdier (m³/s)

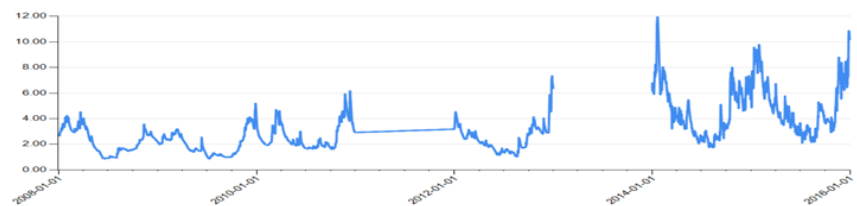
[Hent data for graf](#)



Stationens nr	Stationens navn	Stationens lokalitet	Stationsejer
24000050	GRENÅEN BY BRØK VED HAVEN	GRENÅEN	Naturstyrelsen

Vandføringsmålinger for stationen, døgnmiddelværdier (m³/s)

[Hent data for graf](#)



Figur 11: Vandføringstidsserier for Aarhus Å (øverst) sammenholdt med Grenåen (nederst).

Bemærk også, at Bodil-stormen den 5. december 2015 gav anledning til indstrømning af havvand i Grenåen forbi målestationen (negativ vandføring på den øverste kurve), hvilket medførte oversvømmelser langs åen.

Metrologisk sammenfald af stormflod og ekstrem regnhændelse har en meget ringe sandsynlighed, hvorfor der i det følgende ikke regnes med sammenfald af ekstremhændelserne, men derimod med sammenfald af en 100 års stormflodshændelse med en 10 års regnhændelse. Denne dimensioneringsforudsætning er i samme størrelse som den forudsætning, der blev anvendt ved den tilsvarende Aarhus-løsning.

På baggrund af ovenstående kan samlet afstrømning fra byerne og det øvrige opland til Grenåen vurderes således:

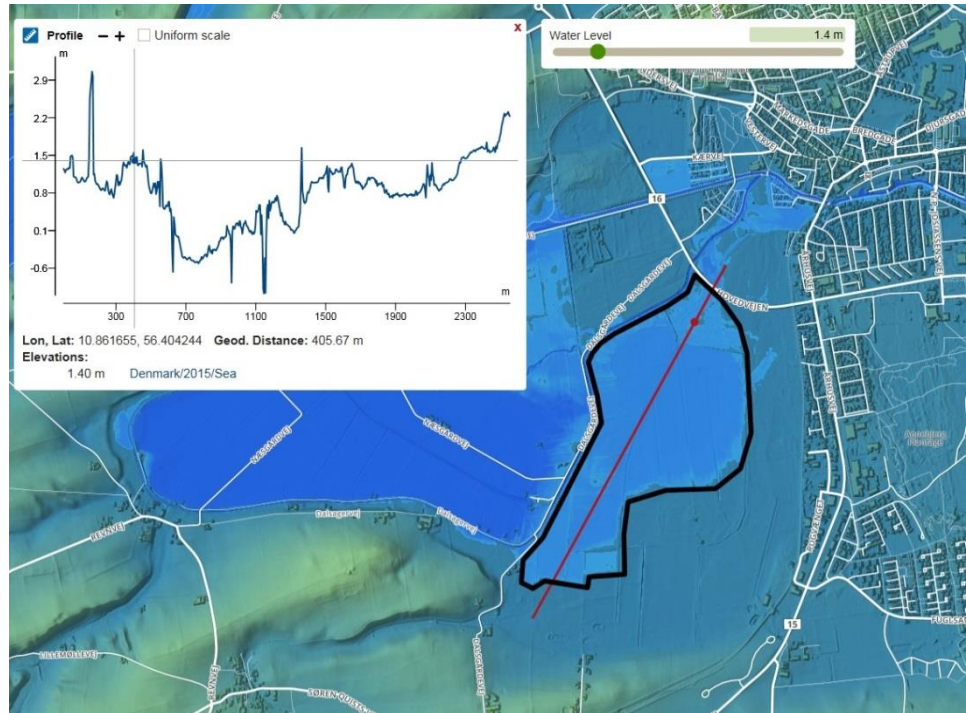
- Afstrømning fra byerne på 196.000 m³ (jf. Figur 9)
- Afstrømning fra det øvrige opland på 648.000 m³ (15 m³/s i 12 timer)

Samlet afstrømning fra byerne og det åbne land kan på den baggrund vurderes til 844.000 m³ over en periode på 12 timer i forbindelse med en 100 års stormflodshændelse, der medfører sluselukning i 12 timer, i kombination med en 10 års regnhændelse.

I det følgende beskrives forskellige muligheder for etablering af bassiner, der kan rumme denne vandmængde.

3.2.2 Bassin i Kragssø

På Figur 12 er vist et eksempel på bassin til regnvand fra byen og det øvrige opland til Grenåen. Bassindybden i et centralt tværsnit fremgår af figuren. Det ses, at bassin-bunden ligger i kote ca. -0,5 m og det er anslået, at bassinareal og bassinvolumen med en maksimal vandstandskote på +1,4 m, er ca. 130 ha. henholdsvis ca. 1.050.000 m³, hvilket er i overensstemmelse med det forventede krav til bassinstørrelse, jf. afsnit 3.2.1. Bemærk, at der ved dette bassin skabes ca. 8.100 m³ bassin pr. ha. bassin.



Figur 12: Illustration af bassin-mulighed vest for Grenå (indrammet med sort linje) og tværsnit af bassin (indsat figur øverste venstre hjørne)

Dette bassin er adskilt fra Kolindsund (af Sydkanalen), hvorfor der ikke er behov for diger omkring bassinet for at kunne udnytte dette. Dog vil der formentlig være behov for nogen beskyttelse af Ringvejen, hvor vejbanen ligger i kote ca. 2,5 m.

Ind- og udløb til og fra bassinet kan ske fra Sydkanalen, hvor der i forvejen findes en pumpestation, som pumper vand fra Kragssøen til Sydkanalen. Se placering af denne pumpestation på Figur 13. Dele eller hele det skitserede bassin vil komme i anvendelse når den skitserede sluse på Grenåen lukker. Som beskrevet ovenfor forventes dette at ske i nogle få timer hvert 5. år i det nuværende klima, men gradvist oftere i et fremtidigt klima med højere havvandsstand.

Indløb til bassinet vil i givet fald ske fra Sydkanalen, både fra sydvest og fra nordøst. Det skal vurderes, om de to dele af Sydkanalen har tilstrækkelig størrelse til at føre vandet frem til indløbet og det skal endvidere vurderes, i hvilken grad der er behov for et egentligt indløbsbygværk med henblik på at sikre tilstrækkelig indløbskapacitet. Hertil kommer vurdering af behov for afgitring, med henblik på at forhindre passage af fisk fra kanalerne til Kragssø.



Figur 13: Mulig placering af ind- og udløb ved eksisterende pumpestation.

3.2.3 Bassin i de dele af Kolindsund, som ligger i Norddjurs Kommune

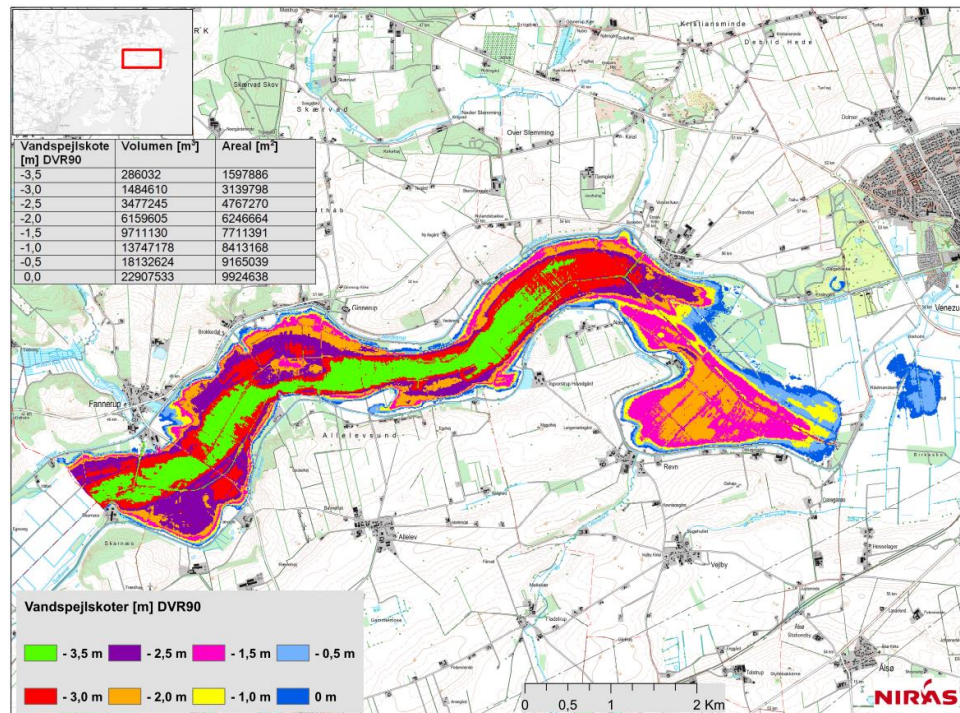
På Figur 14 er vist et kort over hvilke arealer der oversvømmes ved forskellige vandspejlskoter i de dele af Kolindsund, som ligger i Norddjurs Kommune (til Fannerup). Endvidere er areal og volumen af disse oversvømmelser vist på figuren.

Det grønne areal på figuren svarer til et oversvømmet areal på ca. 160 ha. og et volumen på ca. 286.000 m³. Inkluderes det røde areal, inddrages et areal på ca. 314 ha. og et volumen på ca. 1.485.000 m³, hvilket svarer til forventet behov for bassin, jf. afsnit 3.2.1. Bemærk, at der ved dette bassin skabes ca. 4.700 m³ bassin pr ha. bassin.

Et bassin, svarende til ovenstående skitse, kan være afgrænset af et mindre jorddige på tværs af Kolindsund ved Fannerup og vil ellers være afgrænset af Kolindsunds naturlige terræn.

Ind- og udløb til og fra bassinet kan ske fra Syd-/Nordkanalen eller evt. ved at stoppe nogle af de pumper, der tørholder Kolindsund.

Dele eller hele det skitserede bassin vil komme i anvendelse når den skitserede sluse på Grenåen lukker. Som beskrevet ovenfor forventes dette at ske i nogle få timer hvert 5. år i det nuværende klima, men gradvist oftere i et fremtidigt klima med højere havvandsstand.



Figur 14: Oversvømmede områder ved forskellige vandspejlskoter samt bassinvolumen af disse volumener (for større detalje se samme kort i større udgave i Bilag 1).

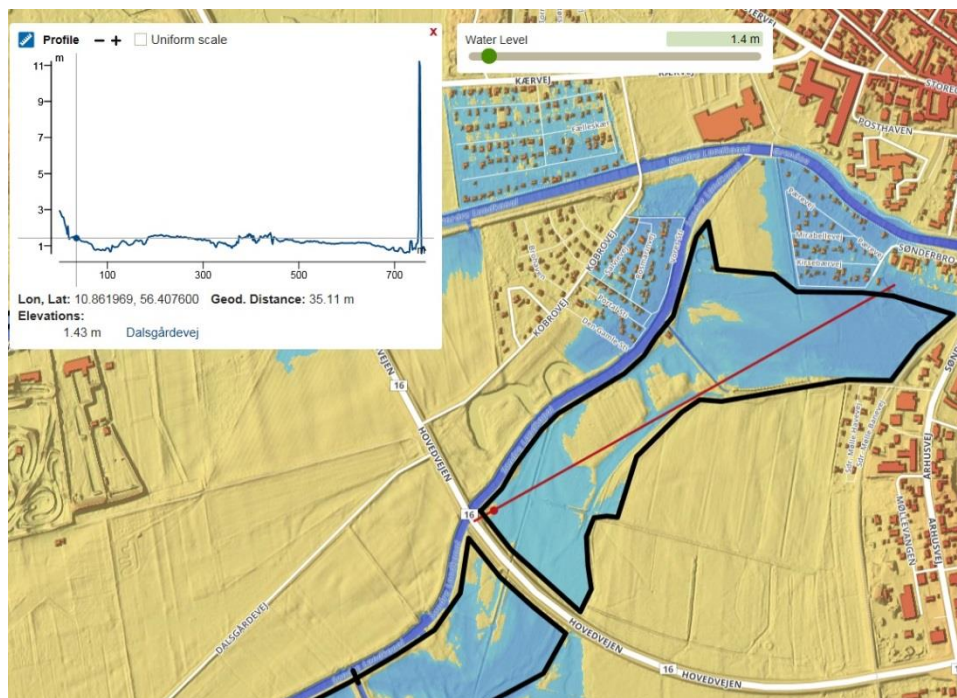
3.2.4 Bassiner på kommunalt ejede arealer i Kolindsund

På Figur 15 - Figur 18 er vist bassinmuligheder på arealer, som ejes af Norddjurs kommune. Bassindybderne i et centralt tværsnit fremgår ligeledes af figurene. Areal og volumen af disse bassiner er vist på Figur 19.

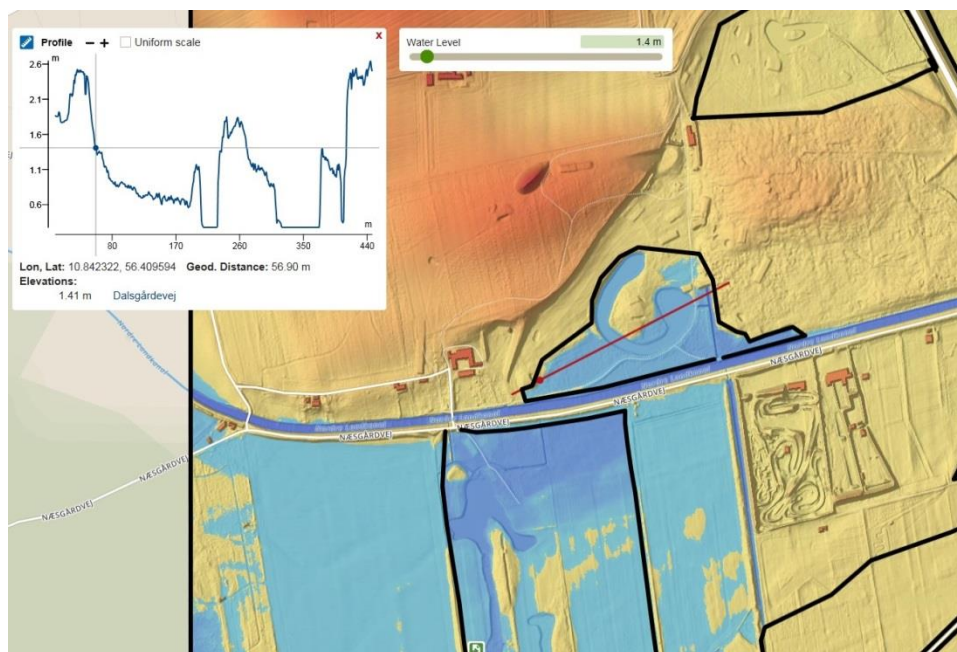
Bemærk, at der ved etablering af disse bassiner kun skabes et samlet volumen på ca. 328.000 m³, hvilket ikke er tilstrækkeligt volumen i forhold til det forventede behov på ca. 844.000 m³.

For disse bassiner vil der endvidere i stort omfang være behov for diger til afgrænsning af bassinerne.

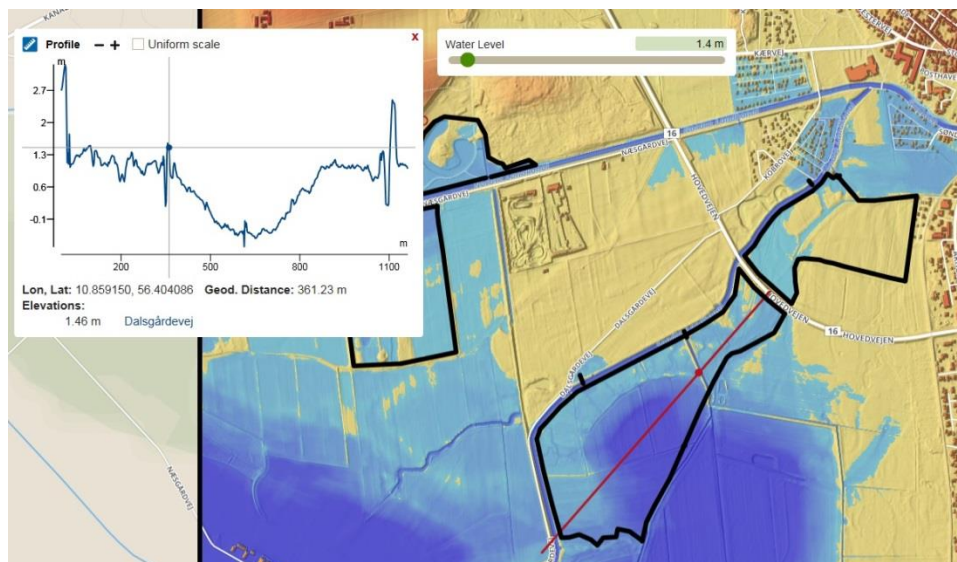
Der arbejdes ikke videre med disse bassiner som løsningsmuligheder, da størrelsen ikke er tilstrækkelig og der samtidig vil være store omkostninger til diger rundt om bassinerne.



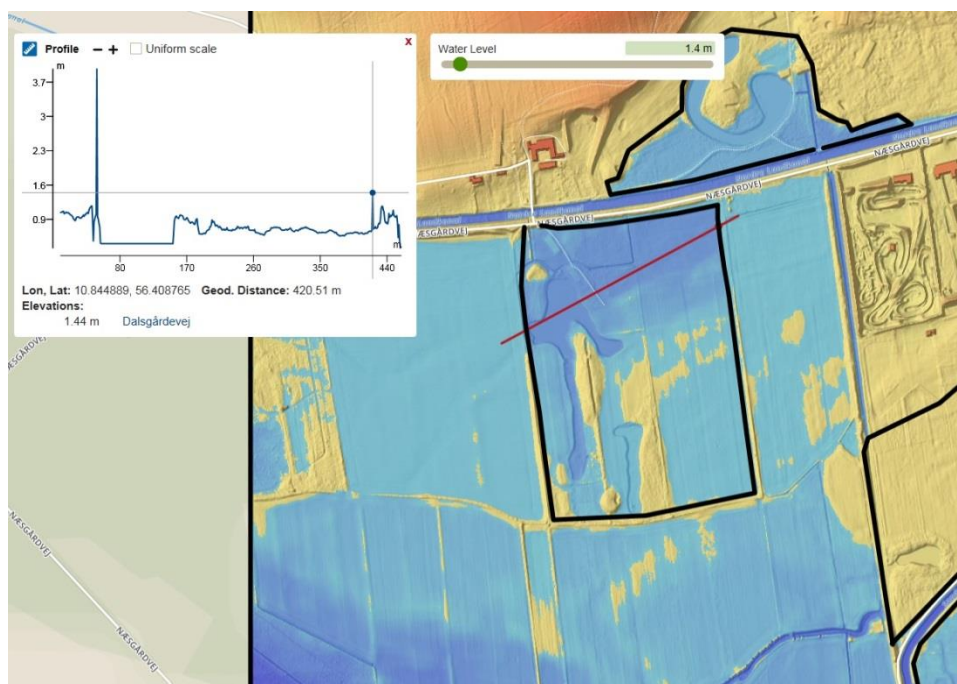
Figur 15: Bassin på kommunalt ejede arealer nord for Ringvej.



Figur 16: Bassin på kommunalt ejede arealer nord for Næsgårdvej.



Figur 17: Bassin på kommunalt ejede arealer syd for Ringvejen.



Figur 18: Bassin på kommunalt ejede arealer syd for Næsgårdvej.

Bassin	Volumen [m ³]	Areal [m ²]
Hovedvejen nord	24719	90013
Hovedvejen syd	195273	269739
Næsgårdvej nord	29958	43242
Næsgårdvej syd	62439	146490
Sum kommunalt ejede arealer	312389	549484
Kystlagune nord	12473	20598
Kystlagune syd	3022	17308
Sum Lagunearealer ved kysten	15495	37906

Figur 19: Areal og volumen af bassiner på kommunalt ejede arealer og lagunearealer ved kysten.

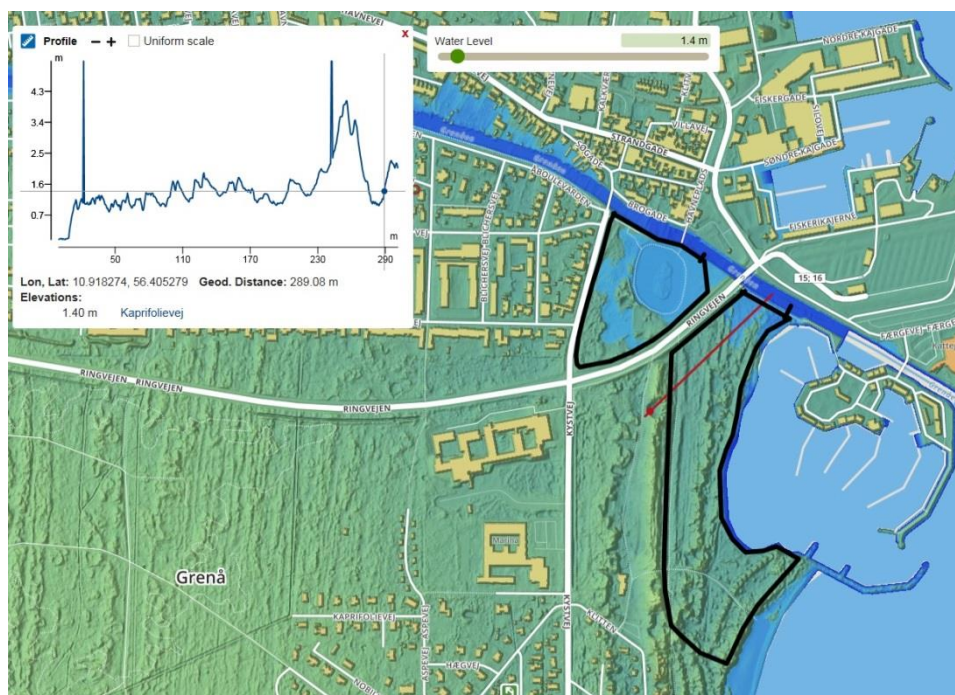
3.2.5 Bassin i laguner langs kysten

På Figur 20 og Figur 21 er vist bassinmuligheder på lagunearealer ved kysten. Bassindybderne i et centralt tværsnit fremgår ligeledes af figuren. Areal og volumen af disse bassiner er vist på Figur 19.

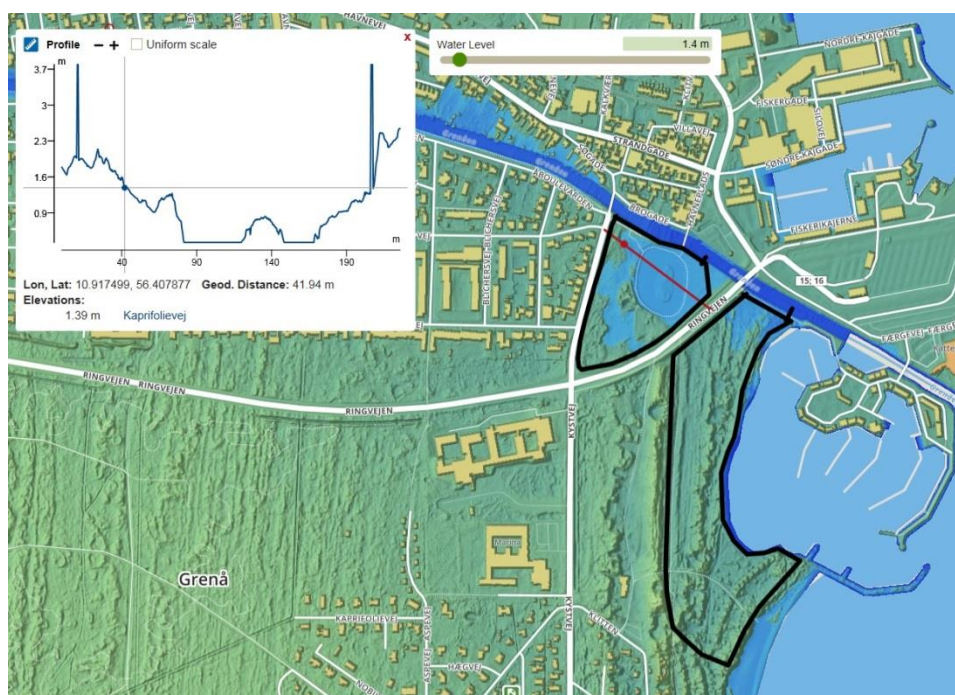
Bemærk, at der ved etablering af disse bassiner kun skabes et samlet volumen på ca. 15.000 m³, hvilket ikke er tilstrækkeligt volumen i forhold til det forventede behov på ca. 844.000 m³.

For disse bassiner vil der endvidere i stort omfang være behov for diger til afgrænsning af bassinerne.

Der arbejdes ikke videre med disse bassiner som løsningsmuligheder, da størrelsen ikke er tilstrækkelig og der samtidig vil være store omkostninger til diger rundt om bassinerne.



Figur 20: Bassin i lagune ved lystbådehavnen.



Figur 21: Bassin i lagune mellem Ringvejen og Kystvej.

3.2.6 Udnyttelse af eksisterende Kolindsund-kanaler som bassin

På workshop, hvor udkast til denne rapport blev drøftet mellem repræsentanter for kommune, havn og forsyninger, blev det foreslået at undersøge mulighed for

udnytte volumenet i de eksisterende Kolindsund-kanaler som bassin. I det følgende er der redegjort for denne bassinmulighed. Redegørelsen er udarbejdet på baggrund af workshoppen samt efterfølgende skriftligt input fra AquaDjurs (Ulrik Christensen) og telefoniske drøftelser med Norddjurs Kommune (Jens Gregersen).

Udgangspunktet for forslaget om at udnytte Kolindsundkanalerne er, at disse normalt ikke er fyldte, og at der derfor i kanalerne kan forventes at være et vist volumen, der kan udnyttes til regnvand, når en sluse på Grenåen lukkes. Midterkanal, Nordkanal og Sydkanal samt et eksempel på et tværsnit af terrænet tværs over Kolindsund er vist på Figur 22.

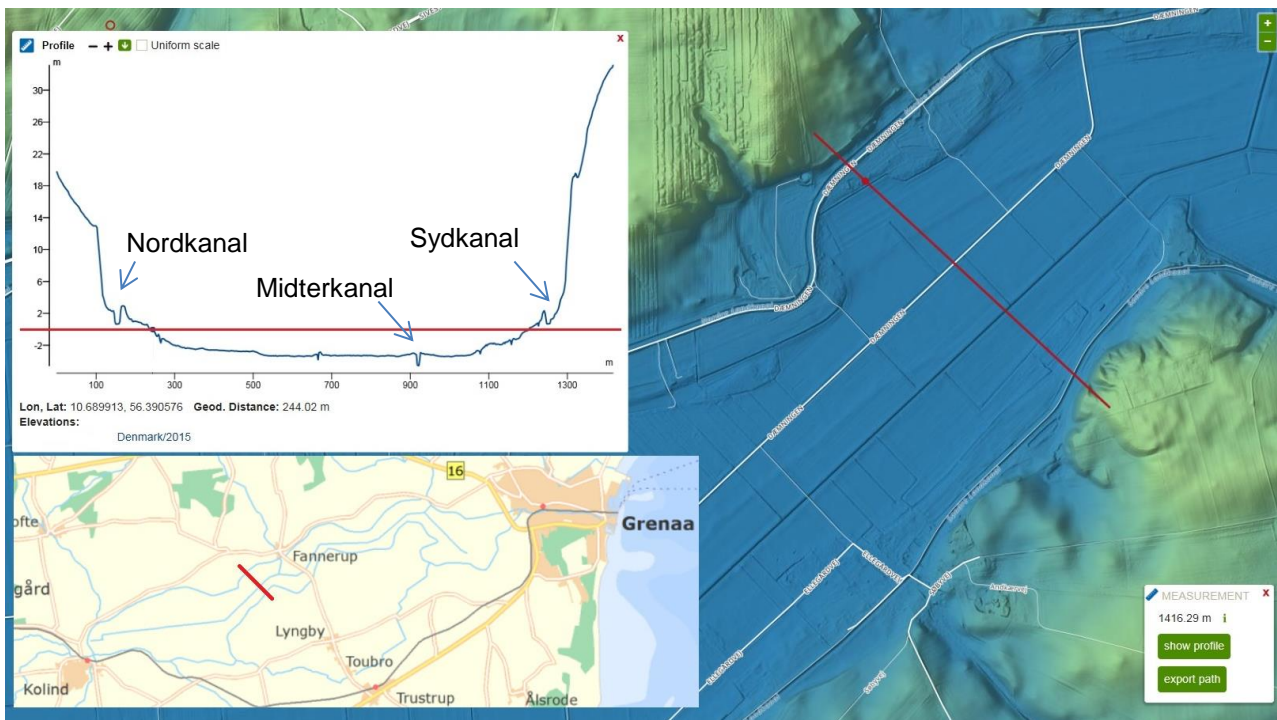
Et overslag over volumen i kanalerne kan opgøres således:

- **Midterkanalen.** Vandspejlet i Midterkanalen er styret af pumperne, som løfter vandet fra Midterkanalen til Nord- og Sydkanalerne. Udnyttelse af Midterkanalen kan effektueres ved at stoppe pumperne. Erfaringsmæssigt bliver de dybestliggende arealer i Kolindsund vandlidende i løbet af en meget kort periode efter et pumpestop (oplyst af Jens Gregersen). Derfor er der i det følgende ikke regnet med Midterkanalen som et muligt bassin.
- **Nord- og Sydkanalerne.** Vandspejlet i Nord- og Sydkanalerne er ikke styrede, men afhænger af oppumpningen fra Midterkanalen, udstrømningen gennem Grenåen og af regnvandstilstrømningen. Erfaringsmæssigt er der plads til ca. 0,5 m opstuvning i kanalerne (oplyst af Jens Gregersen). Dimensionerne af Nord- og Sydkanalerne kan angives således:
 - Nordkanal, længde: 20 km
 - Nordkanal, bredde: 10 m
 - Sydkanal, længde: 25 km
 - Sydkanal, bredde: 10 m

På den baggrund kan der beregnes et muligt bassinvolumen på i alt ca. 225.000 m³ i Nord- og Sydkanalerne. Der er knyttet en væsentlig usikkerhed til denne beregning, men det vurderes som sikkert, at kanalerne rummer et væsentligt bassinvolumen, der kan anvendes i forbindelse med eventuelle fremtidige lukninger af en sluse på Grenåen.

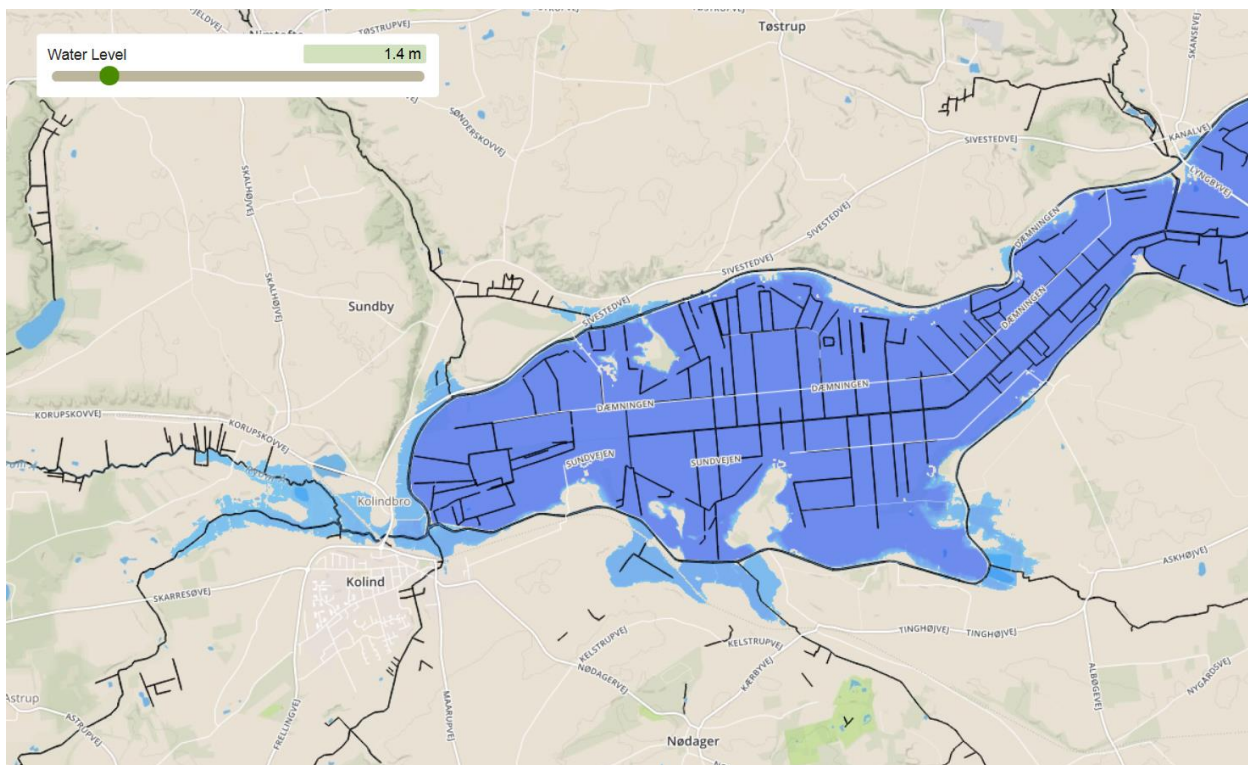
Et bassin i Nord- og Sydkanalerne kan således ikke rumme, hvad der kan være behovet ved en 12 timers sluselukning kombineret med en klimafremskrevet 10 års regnhændelse, idet behovet som tidligere angivet vil være ca. 844.000 m³. Dog kan det vurderes på ovenstående baggrund, at Nord- og Sydkanalerne kan forventes at kunne rumme hvad der kan være behovet ved en 3-4 timers sluselukning kombineret med en klimafremskrevet 10 års regnhændelse. Sammenholdt med, at der kun meget sjældent vil være behov for sluselukkeperioder, der varer længere tid end 3-4 timer, vurderes udnyttelse af kanalerne som bassin at

være en brugbar løsning. Løsningen bør dog kombineres med et nødoverløb til enten Kragssø og/eller stop af oppumpning fra Kolindsund med henblik på at afværgе risiko for ukontrolleret oversvømmelse ved meget store regnhændelser og/eller meget lange sluselukkeperioder.



Figur 22: Midterkanal, Nordkanal og Sydkanal samt et tværsnit af terræn over Kolindsund

Opstuvning af vand i Nord- og Sydkanalerne vil i nogen grad medføre oversvømmelser langs kanalerne. Dette forhold er illustreret på Figur 23, der viser et udsnit af Kolindsund. I området nord for Kolind, og i områderne langs de vandløb, der løber til kanalerne, vil der være risiko for oversvømmelse. Der er tale om områder, der ikke er bebygget, men anvendes til landbrug.



Figur 23: Udsnit af Kolindsund, som viser den dybtliggende del af Kolindsund (markeret med mørk blå farve), der ligger mellem Nord- og Sydkanalerne, samt områder uden for kanalerne som vil blive oversvømmet ved opstuvning i kanalerne op til kote + 1,4 m (markeret med lys blå farve).

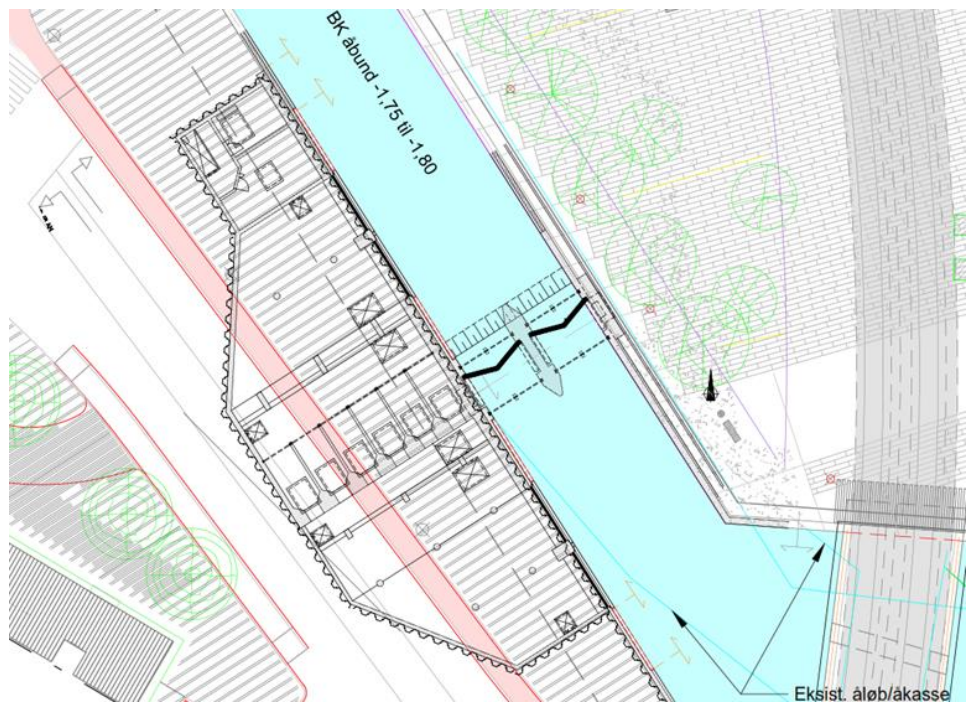
3.3 Pumpestation, som pumper vandet fra Grenåen til havnen/Kattegat

Som alternativ til de beskrevne bassinløsninger kan der etableres en pumpestation, som ved stormflodshændelser løfter vand fra Grenåen til havnen/Kattegat. Denne løsning er som bekendt valgt i Aarhus og etableret ved udmundingen af Aarhus Å i havnen.

Kapaciteten for en sådan pumpestation forventes at skulle være ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$, jf. overvejelserne i afsnit 3.2.1, hvilket er i samme størrelsesorden som pumpestationen i Aarhus ($18 \text{ m}^3/\text{s}$). Anlægsomfanget af en sådan pumpestation med sluse er på Figur 24 vist med Aarhus-løsningen som eksempel. På Figur 25 er vist den samme pumpestation i anlægsfasen. Det fremgår, at pumpestationen er ganske pladskrævende, hvilket dog ikke forventes at udgøre et problem for etablering på Grenå havn.

Pumpestationen ved Aarhus Å fungerer med 6 stk. pumper der, tager vand ind fra åen umiddelbart inden for slusen og afleder vandet umiddelbart uden for slusen.

Det forventes, at det i givet fald vil være fordelagtigt at udforme pumpestationen i Grenå efter samme koncept som i Aarhus.



Figur 24: Pumpestation og sluse, udført ved udløb af Aarhus Å i havnen.



Figur 25: Pumpestation ved udløb af Aarhus Å i havnen, i anlægsfasen.

3.4 Økonomi for løsninger

På baggrund af anbefalet sikringsniveau (100 års stormflodshændelse i år 2100 i kombination med 10 års hændelse for afstrømning i Grenåen i år 2100), opstilles i det følgende økonomisk overslag (se Figur 24-27) for projektering og udførelse

af de beskrevne gennemførlige løsninger. De økonomiske overslag er opstillet på et detaljeringsniveau, der er tilstrækkeligt til at vælge, hvilke(n) løsning(er) der i givet fald skal indgå i det videre arbejde.

Bemærk, at der er tillagt uforudseelige udgifter på 30 % til de kalkulerede anlægsomkostninger, hvilket afspejler, at der er regnet på den sikre side mht. at kunne realisere projekterne inden for den samlede sum.

Erstatningsomkostninger er vurderet på baggrund af at de pågældende arealer forventes at blive udsat for oversvømmelse hvert 5. år i nuværende klima og oftere i et fremtidigt klima. Størstedelen af bassinarealerne udgøres af konventionelt dyrkede jorder og mindre dele af eng og mosearealer, der formentlig anvendes til ekstensivt landbrug. På baggrund af erfaringer og kendelser fra Over-taksationskommission i tilsvarende sager /2/ kan følgende vurderes:

- Nuværende handelsværdi af konventionelt dyrket landbrugsjord er ca. 160.000 kr./ha. Handelsværdi af ekstensivt dyrket landbrugsjord, som primært udgøres af eng og mose, er ca. 85.000 kr./ha.
- Handelsværdi efter tinglysning af tiltag, herunder ret til oversvømmelse af konventionelt og ekstensivt dyrket landbrugsjord er ca. 125.000 kr./ha henholdsvis 50.000 kr./ha.
- Engangserstatning kan på den baggrund anslås til ca. 35.000 kr./ha, hvilket er anvendt i de økonomiske overslag for løsningerne.

Omkostninger ved løsningerne er endvidere anslået på baggrund af erfaringer fra lignende sager.

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris (kr.)	Antal enheder	Pris (kr.)
Anlægsomkostninger for højvands-sikring ved havnen	m	10.000	300	3.000.000
Anlægsomkostninger for højvands-sikring ved havnen	m	1.000	700	700.000
Anlægsomkostninger for sluse	Stk.	6.000.000	1	6.000.000
Erstatningsomkostninger for bassiner i det åbne land	ha	35.000	99	3.465.000
Sikring af eksisterende dæmning for vej	Stk.	100.000	1	100.000
I alt				13.265.000
Uforudseelige omkostninger	%		30	3.979.500
				17.244.500

Figur 26: Økonomi for højvands-sikring med sluse og bassin i Kragssø.

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris (kr.)	Antal enheder	Pris (kr.)
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	10.000	300	3.000.000
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	1.000	700	700.000
Anlægsomkostninger for sluse	Stk.	6.000.000	1	6.000.000
Erstatningsomkostninger for bassiner i det åbne land	ha	35.000	170	5.950.000
Sikring af eksisterende dæmning for vej	Stk.	100.000	0	0
I alt				15.650.000
Uforudseelige omkostninger	%		30	4.695.000
				20.345.000

Figur 27: Økonomi for højvands sikring med sluse og bassin i de dele af Kolindsund, som ligger i Norddjurs Kommune.

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris (kr.)	Antal enheder	Pris (kr.)
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	10.000	300	3.000.000
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	1.000	700	700.000
Anlægsomkostninger for sluse	Stk.	6.000.000	1	6.000.000
Anlægsomkostninger for pumpestation	Stk.	12.000.000	1	12.000.000
Erstatningsomkostninger for bassiner i det åbne land	ha	35.000	0	0
Sikring af eksisterende dæmning for vej	Stk.	100.000	0	0
I alt				21.700.000
Uforudseelige omkostninger	%		30	6.510.000
				28.210.000

Figur 28: Økonomi for højvands sikring med sluse og pumpestation.

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris (kr.)	Antal enheder	Pris (kr.)
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	10.000	300	3.000.000
Anlægsomkostninger for højvands sikring ved havnen	m	1.000	700	700.000
Anlægsomkostninger for sluse	Stk.	6.000.000	1	6.000.000
Erstatningsomkostninger for bassiner i det åbne land	ha	35.000	0	0
Sikring af eksisterende dæmning for vej	Stk.	100.000	1	100.000
I alt				9.800.000
Uforudseelige omkostninger	%		30	3.979.500
				13.779.500

Figur 29: Økonomi for højvands sikring med bassin i Nord- og Sydkanaler.

Følgende fremgår af de økonomiske overslag:

- Løsningen, der omfatter højvands sikring med sluse og bassin i Nord- og Sydkanaler forventes at være den økonomisk optimale løsning. Det skal dog erindres, at løsningen ikke opfylder samme krav, som de øvrige løsninger, men bør udbygges med en aftale om nødoverløb til Kragssø og/eller Kolindsund. Omkostninger hertil er ikke medregnet i det økonomiske overslag. Det kan anbefales, at løsningen iværksættes som første trin af en højvands sikring, som efter behov kan suppleres med bassin-arealer i Kragssø og Kolindsund og/eller pumpestation.
- Løsningen, der omfatter højvands sikring med sluse og bassin i Kragssø forventes at være den økonomisk optimale fulde løsning, der overholder krav til en højvands sikring i år 2050. Forskellen til løsningen med bassiner i Kolindsund ligger i, at Kragssø-løsningen er mere effektiv end Kolindsund-løsninger da Kragssø-løsningen skaber et bassinvolumen på 8.100 m³ pr. ha. bassin, mens Kolindsund-løsningen kun skaber et bassinvolumen på 4.700 m³ pr. ha. bassin. Det skal dog erindres, at behov for udvidelse af dele af Sydkanalen, samt etablering af indstrømningsbygværk, ikke er udført, hvorfor anlægsomkostninger i denne forbindelse kan gøre løsningen noget dyrere end angivet i Figur 26.
- Samtidig fremgår det, at forventede anlægsomkostninger for en pumpestation, medfører, at pumpestationsløsningen kan blive den mindst økonomisk optimale løsning.

3.5 Finansieringsmuligheder

Som udgangspunkt skal kystsikringsprojekter finansieres iht. lovgivning om kystsikring. I praksis betyder dette finansiering via en partsfordeling blandt berørte

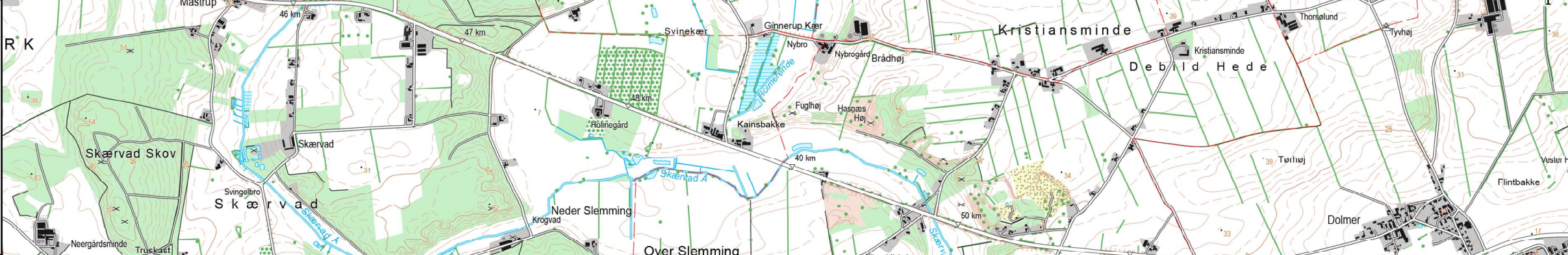
lodsejere. Herudover vil der i visse situationer være mulighed for at opnå støtte via fondsfinansiering.

Alt efter hvilken løsning der vælges, kan der være mulighed for, at spildevands-selskabet AquaDjurs A/S afholder dele af omkostningerne som et klimaprojekt under medfinansieringsordningen. En betingelse er bl.a., at løsningen er billigere end investeringer i traditionelle spildevandsanlæg til håndtering af tag- og overfladevand. Spildevandsselskaber må ikke finansiere anlæg, der alene har til formål at sikre mod oversvømmelse i forbindelse med stormflod. Medfinansiering fra AquaDjurs A/S kræver nærmere undersøgelser og vurderinger, herunder både godkendelse af Forsyningssekretariatet (staten) samt en nærmere aftale mellem Norddjurs Kommune og AquaDjurs.

4 REFERENCER

/1/ Norddjurs Kommune: Klimatilpasningsplan, 20. januar 2015

/2/ Kystdirektoratet: Højvandsstatistikker 2012.



Vandspejlskote [m] DVR90	Volumen [m ³]	Areal [m ²]
-3,5	286032	1597886
-3,0	1484610	3139798
-2,5	3477245	4767270
-2,0	6159605	6246664
-1,5	9711130	7711391
-1,0	13747178	8413168
-0,5	18132624	9165039
0,0	22907533	9924638

